

Laghi Albano e di Bracciano: bilancio idrico e valutazione dei prelievi

FRANCO MEDICI

DIPARTIMENTO DI CHIMICA
INGEGNERIA CHIMICA, DEI MATERIALI
DELLE MATERIE PRIME E METALLURGIA
UNIVERSITÀ DI ROMA "LA SAPIENZA".
medici@ingchim.ing.uniroma1.it

RIASSUNTO

I laghi Albano e di Bracciano: i due laghi più importanti della provincia di Roma per estensione e volume d'acqua, soffrono, da alcuni anni, di un abbassamento del livello idrometrico di riferimento.

In questo lavoro si è impostato e risolto il bilancio idrico in condizioni stazionarie per i due laghi e si sono valutati i prelievi teorici d'acqua dagli specchi lacustri, compatibili con un abbassamento del livello idrometrico di riferimento pari a zero ($\Delta H = 0$).

Le conclusioni evidenziano una grave carenza idrica per il lago Albano ed uno stato di sofferenza per il lago di Bracciano. Ambedue gli specchi lacustri costituiscono una riserva strategica di acqua per la città di Roma e necessitano in fu-

turo di particolari attenzioni per ciò che riguarda i prelievi diretti d'acqua effettuati da diversi Enti.

1. INTRODUZIONE

Il sistema dei laghi dell'Italia Centrale, costituito da 12 laghi con un volume totale di $14,8 \text{ km}^3$, è il secondo per importanza in Italia dopo il distretto dei laghi alpini della Regione Lombardia (Mosello, 2004) e raccoglie, con il suo volume d'acqua, il 10% circa delle risorse idriche lacuali globali italiane (volume totale d'acqua invasato 150 km^3). I laghi più grandi (Albano, Bolsena, Bracciano, Vico) oltre a costituire una risorsa fondamentale di acqua potabile e di irri-

gazione, rivestono una notevole importanza naturalistica e turistica.

In particolare i bacini dei laghi Albano e di Bracciano sono in parte classificati come zone di protezione speciale (ZPS), come siti di interesse comunitario (SIC), inseriti nella rete Natura 2000, ed in due diversi Parchi Regionali (dei Castelli Romani e di Bracciano - Martignano, rispettivamente).

Gli interessi presenti in queste due zone, di importanza strategica per la Regione Lazio, rendono la gestione di questi sistemi molto complessa; i problemi di gestione sono aggravati, inoltre, dal fatto che attualmente la zona mediterranea sta attraversando una fase climatica di siccità, che influisce in maniera negativa sul bilancio idrico dei sistemi lacustri.

All'interno del sistema dei laghi dell'Italia Centrale, i laghi del nord del Lazio (Bolsena e Vico) e dell'Umbria (Trasimeno) appaiono più studiati (Dragoni W. e al., 2002 e 2006). Minore attenzione sembra essere dedicata ai laghi della Provincia di Roma (Albano e Bracciano): questi due laghi sono caratterizzati da ingenti prelievi diretti di acqua dagli specchi lacustri. Ciò ha contribuito tra l'altro ad annullare la portata degli emissari: il torrente Arnone per il lago di Bracciano e l'emissario romano per il lago Albano (scavato artificialmente nel quarto secolo A.C.). Il lago di Bracciano ha come immissari varie sorgenti sotterranee tra cui quel-

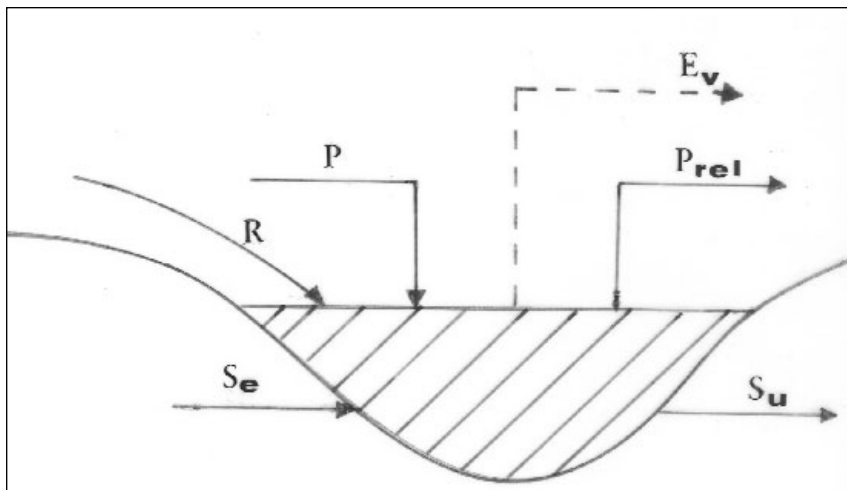


Figura 1 - Sistema di riferimento



Figura 2 - Lago di Bracciano (2006). Molo di Trevignano.

le termo-minerali di Vicarello, e due emissari: l'Arrone, che riversava nel Tirreno lo scolmo del lago, e l'acquedotto Paolo, che porta a Roma l'acqua omonima alimentando anche fontane e giardini della Città del Vaticano. Il lago Albano, invece, è alimentato da polle subacquee, ha un emissario artificiale di epoca romana, scavato presso Castel Gandolfo nel 398-397 a.C. per propiziare la caduta di Veio, nell'emissario, dal 1992, non fluisce più l'acqua di esubero del lago.

In questo lavoro si vuol risolvere in maniera semplice il bilancio idraulico dei due laghi, applicando i metodi tradizionali del bilancio di massa propri dell'ingegneria chimica, utilizzando equazioni di letteratura e i dati meteorologici messi a disposizione dalla Regione Lazio del 2005 (medie mensili di temperatura, umidità e precipitazioni mensili). L'obiettivo è quello di valutare, in condizioni stazionarie e di abbassamento del livello idrometrico di rife-

rimento del lago pari a zero ($\Delta H = 0$), i prelievi diretti d'acqua dai due laghi compatibili con il bilancio di massa.

2. SISTEMA DI RIFERIMENTO E BILANCIO

I laghi in esame, come noto, non dispongono di immissario ed emissario. Infatti per il lago di Bracciano, la portata del torrente Arrone in uscita dal lago è nulla, per il lago Albano, come detto precedentemente, dal 1992, nell'emissario artificiale non scorre più l'acqua del lago in eccesso.

La ricarica dei due laghi è, quindi, costituita dalle acque di pioggia (P), di ruscellamento (R) e dal sistema di flussi/deflussi sotterranei (ΔS). Le acque in uscita sono costituite dalla evaporazione dalla superficie lacustre (E_{sup}), dalla evapotraspirazione dal bacino imbrifero ($Evap$) e dai prelievi diretti dallo specchio lacustre (P_{rel}).

Più semplicemente la figura 1 schematizza la diverse componenti

concettuali del bilancio idrico di un lago in assenza di emissario.

Il bilancio di massa in condizioni stazionarie e di abbassamento idrometrico pari a zero ($\Delta H = 0$) può essere scritto:

è la seguente:

$$P + R + \Delta S - E_v + P_{rel} = 0 \quad (1)$$

Dove: P (precipitazioni annuali), R (ruscellamento), $\Delta S = [S_e - S_u]$ (bilancio tra afflussi S_e e deflussi S_u), $E_v = [E_{sup} + Evap]$ (evaporazione dalla superficie lacustre + evapotraspirazione dal bacino imbrifero), P_{rel} = portata dei prelievi diretti.

Come noto si intendono condizioni di equilibrio stazionario, le condizioni di portata costante e quelle in cui l'abbassamento del livello idrometrico di riferimento è pari a zero ($\Delta H = 0$). L'equazione di bilancio, con tali condizioni al contorno, presenta una sola incognita (P_{rel}) in quanto gli altri termini sono noti o calcolabili.

I termini noti (P , R , ΔS) sono stati desunti: le precipitazioni annuali (dai dati Regione Lazio 2005, www.arsial.regione.lazio.it), il ruscellamento (da Capelli G. e al. 2006), il bilancio ΔS tra flussi e deflussi (da Gazzetti C. e al., 2006) e sono riportati in tabella 1.

Il calcolo della evaporazione dalla superficie del lago può essere effettuata utilizzando la formula di Visentini (Musmeci F. e al., 2002) che fornisce E_{sup} mensile:

$$E_{sup} = 5,33 T + 0,75 |100 - U| \quad (2)$$

	Lago Albano	Lago di Bracciano
P (mm/anno)	1.012	1.237
R (% di P)	0,16 (P)	0,22 (P)
ΔS (Mm ³ /anno)	2.428	18.761

Tabella 1 - Bilancio idrico, dati desunti dalla letteratura

	Lago Albano	Lago di Bracciano
P (mm/anno)	1012	1237
R (mm/anno)	162	272
E_{sup} (mm/anno)	1241	1131
E_{vap} (mm/anno)	642	687

Tabella 2 - Bilancio idrico, dati calcolati

	Lago Albano	Lago di Bracciano
$(P + R)$	7,044	86,013
ΔS	2,428	18,761
Ev	10,146	90,117
P_{rel} (calcolato)	- 0,674 (valore negativo)	14,657 (valore positivo)

Tabella 3 - Bilancio idrico, soluzione. I risultati sono tutti in [Mm³/anno]



Figura 3 - Lago di Bracciano (2006), particolare molo di Trevignano. Lo zero idrometrico è a metà del pilastro di sostegno [livello attuale - 60 cm circa]



Figura 4 - Lago Albano (1970). Il particolare delle piastre in cemento armato, al di là delle barche, è riportato in figura 5.

Dove T è la temperatura media mensile ed U l'umidità relativa media mensile.

Per il calcolo della evapotraspirazione delle restanti parti del bacino si può utilizzare la formula di Turc:

$$E_{vap} = P / \sqrt{0,9 + (P/L)^2} \quad (3)$$

$$L = 300 + 25 T_a + 0,05 T_a \quad (4)$$

Dove T_a è la temperatura media annuale [$^{\circ}\text{C}$] e P la piovosità [mm/anno].

I dati meteorologici di temperatura, umidità relativa e piovosità si riferiscono al 2005 per le stazioni di Prato Pianciano (Comune di Bracciano) e Due Santi (Comune di Marino) e disponibili nel sito della Regione Lazio citato precedentemente. I risultati finali delle elaborazioni numeriche sono riportati in tabella 2.

Occorre segnalare che esistono diverse varianti della formula di Turc, più adatte per le aree mediterranee (Dragoni W. e al. 1994), per cui si ritiene più realistico prendere in considerazione, per Evap, il 70% del valore calcolato: nei successivi calcoli di bilancio si è considerato $\text{Evap} = 450$ mm/anno.

Note le superfici dei due laghi (Albano = 6 km², Bracciano = 57 km²) è possibile risolvere il bilancio di massa proposto nell'equazione 1 dove tutti i termini sono noti, e calcolare (P_{rel}) con unica incognita dell'equazione di bilancio. I risultati di tali valutazioni sono sinteticamente riportati in tabella 3.

I risultati del bilancio idrico indicano che per il lago di Bracciano $[(P + R) + \Delta S] > E_v$: cioè l'evaporazione superficiale è inferiore alla somma della ricarica della pioggia e degli afflussi dalla falda, mentre per il lago Albano $[(P + R) + \Delta S] < E_v$, cioè l'evaporazione superficiale è superiore alla somma della ricarica della pioggia e degli afflussi dalla falda.

3. DISCUSSIONE DEI RISULTATI

La discussione dei risultati è ovvia: il lago Albano presenta, per soli fenomeni naturali, escludendo cioè i prelievi diretti d'acqua dallo specchio lacustre, un bilancio di massa negativo (- 0,67 Mm³/anno); l'abbassamento in assenza di prelievi d'acqua dallo specchio lacustre è valutabile in $\Delta H = 0,67/6 = 11$ [cm/anno]. Il lago di Bracciano presenta, invece, un bilancio di massa positivo: possono cioè essere prelevati, senza alterare il livello di riferimento, circa 15 Mm³/anno.

Per quanto riguarda la situazione di prelievi diretti d'acqua dai laghi risulta che l'ACEA preleva dal lago di Bracciano circa 25 Mm³/anno (Muscini F. e al., 2002), una quantità su-

periore ai 15 Mm³/anno teoricamente disponibili; ciò ha indotto, dal 2003, un abbassamento del livello del lago al di sotto dello zero idrometrico. Si può, quindi, calcolare per il lago di Bracciano che dal 2001 ad oggi l'abbassamento sia pari a $\Delta H = (25 - 15) / 57 = 18$ cm/anno (vedi figure 2 e 3).

Più grave la situazione per il lago Albano: all'autore risulta (Italia Nostra, archivio 2004) che le concessioni di prelievo diretto di acqua siano pari a 1,1 Mm³/anno (concessioni della Regione Lazio al Vaticano, alla Snam, a due privati e al Comune di Albano) e tale quantità va ad aggiungersi ad un bilancio già negativo (-0,67 Mm³/anno). Ciò ha provocato un abbassamento accelerato del livello idrometrico di riferimento: dal 1992 l'acqua non scorre più nell'emissario artificiale scavato dagli antichi romani che consentiva di portare all'esterno l'acqua in eccesso. Considerando la perdita per evaporazione, cui si aggiungono i prelievi diretti d'acqua, si può valutare un abbassamento totale $\Delta H = (0,67 + 1,1) / 6 = 30$ cm/anno (vedi figure 4 e 5).

Il depauperamento delle risorse idriche valutato con un semplice bilancio idrico, tra l'altro semplificato, che non tiene conto delle caratteristiche fisiografiche dei bacini, trova riscontro in diverse citazioni di letteratura:

- Capelli G. e al. (1998): "Negli ultimi dieci anni, da parte dei tecnici degli enti locali, degli studiosi e degli operatori che agiscono nel territorio albano, viene denunciato un diffuso e marcato fenomeno di abbattimento di livelli delle falde e dei laghi Albano e di Nemi".
- Musmeci F. e al. (2002): "La quantità d'acqua che l'ACEA potrebbe prelevare in media dal lago di Bracciano, per alimentare l'acquedotto di Roma, sarebbe in teoria pari a 0,2 m³/s = 6,3 Mm³/anno".
- Dall'Aglio M. e al. (2004): "A partire dal 2001 proprio il lago di Bracciano ha cominciato a dare segni di scompenso, che sono allarmanti e possono preludere a processi di grave alterazione dell'integrità del bacino lacustre".

4. CONCLUSIONI

I bacini dei laghi Albano e Bracciano, che costituiscono un patrimonio naturalistico ed ambientale riconosciuto anche a livello europeo, sono sottoposti ad un intenso sfruttamento delle loro risorse idriche.

Il bilancio idrico, escludendo i prelievi diretti dagli specchi lacustri, cioè



Figura 5 - Lago Albano (2005), particolare. Lo zero idrometrico è sotto la piastra in cemento armato in alto [livello attuale - 450 cm circa].

in condizioni di equilibrio idraulico ($\Delta H=0$) è negativo per il lago Albano (-0,674 Mm³/anno), positivo invece per il lago di Bracciano (+14,657 Mm³/anno).

Se si considerano i prelievi diretti di acqua (Vaticano, Snam, Comune di Albano e due privati per il lago Albano; ACEA per il lago di Bracciano), si può calcolare un abbassamento di 30 cm/anno e di 18 cm/anno rispettivamente per il lago Albano e per quello di Bracciano.

Tali scenari, per altro condivisi dalla comunità scientifica, indipendentemente dalle opinioni sulle cause delle variazioni climatiche in atto, vanno presi in seria considerazione da parte di chi gestisce i bacini lacustri.

In particolare il lago di Albano (Medici F. e al., 2004 e 2005) soffre di un particolare stato di eutrofia, che è testimoniato anche da persistenti formazioni algali ed è stato evidenziato dall'imposizione del divieto di balneazione per tutta la stagione estiva 2006.

Si auspica, quindi:

- la limitazione dei prelievi d'acqua di falda dagli acquiferi vulcanici dei Colli Albani e Sabatini, attraverso l'applicazione delle misure di salvaguardia proposte dalla Regione Lazio (supplemento n. 4 BURL n. 2 del 20 gennaio 2004) e adottate di nuovo dalla Giunta Regionale il 31 ottobre 2006.
- Per il lago di Bracciano la limitazione dei prelievi diretti di acqua potabile da parte dell'ACEA entro limiti resi compatibili dal bilancio idraulico.
- La cessazione dei prelievi diretti di acqua dal lago di Albano.

- Un controllo severo degli scarichi civili, specialmente nel lago Albano.

In mancanza di rigorosi interventi ci potremmo trovare, in un prossimo futuro nella provincia di Roma, davanti ad un disastro ambientale di immensa portata, avendo contribuito consapevolmente a ridurre il lago Albano ad uno stagno inquinato ed ad evolvere verso la desertificazione il lago di Bracciano (Dell'Aglio M., 2004).

Tutto ciò si verifica all'interno di due parchi regionali, in siti di interesse comunitario, protetti dalla normativa europea.

5. Ringraziamento

Voglio ringraziare mio figlio Giacomo, studente del primo anno del corso di laurea in Scienze Geologiche dell'Università di Roma "La Sapienza", per l'assistenza prestata durante i sopralluoghi.

BIBLIOGRAFIA

- CAPELLI G., CECILI A., DE RITA D., GIORDANO G. MAZZA R. (1998). "LA CONOSCENZA IDROGEOLOGICA DEL TERRITORIO QUALE PRESUPPOSTO ALLA GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE: IL CASO COLLI ALBANI". GIORNATA DI STUDIO REGIONE LAZIO ORDINE DEI GEOLOGI, USO E TUTELA DELLA ACQUE SOTTERRANEE. VITERBO, APRILE 1998, 109-161.
- CAPELLI G., MAZZA R., GAZZETTI C. SARANDREA P. VENTURA G. (2006). "VALUTAZIONE E LOCALIZZAZIONE DELLA CRITICITÀ DELLA RISORSA IDRICA". IN STRUMENTI E STRATEGIE PER LA TUTELA E L'USO COMPATIBILE DELLA RISORSA IDRICA LAZIO, PITAGORA EDITRICE, 127-142.
- DALL'AGLIO M., FERRARI I. 2004. "CONFLITTUALITÀ TRA ECOSISTEMI UMANI ED ECOSISTEMI NATURALI PER L'USO DELLA RISORSA IDRICA. IL CASO EMBLEMATICO DELL'ECOSISTEMA METROPOLITANO DI ROMA". IN ATTI DEL CONVEGNO DELL'ACCADEMIA DEI LINCEI "ECOSISTEMA ROMA", ROMA, 14-16 APRILE 2004, 1-10.
- DRAGONI W., VALIGI D. (1994). "CONTRIBUTO ALLA STIMA DELL'EVAPORAZIONE DA SUPERFICI LIQUIDE NELL'ITALIA CENTRALE". GEOLOGIA ROMANA, 30, 151-158.
- DRAGONI W., LOTTI F., PISCOPO V., SIBI A. (2002). "BILANCIO IDROGEOLOGICO DEL LAGO DI VICO". INTERNATIONAL CONFERENCE: RESIDENCE TIME IN LAKES SCIENCE, MANAGEMENT, EDUCATION. BOLSENA (ITALY), 29 SETT. - 3 OTT. 2002, 96-104.
- DRAGONI W., PISCOPO V., DI MATTEO L., GNUCCI L., LEONE A., LOTTI F., MELILLO M., PETITTA M. (2006). "RISULTATI DEL PROGETTO DI RICERCA PRIN LAGHI 2003-05". GIORNALE DI GEOLOGIA APPLICATA, 3, 39-46.
- GAZZETTI C., LOY A., MAZZA R., ROSSI S., SARANDREA P. (2006). "FATTORI MORFOLOGICI, LITO - PEDOLOGICI E TERRITORIALI". IN STRUMENTI E STRATEGIE PER LA TUTELA E L'USO COMPATIBILE DELLA RISORSA IDRICA LAZIO, PITAGORA EDITRICE, 95-103.
- ITALIA NOSTRA (2004). RICORSO PRESSO IL TRIBUNALE SUPERIORE DELLE ACQUE PUBBLICHE, R.G. 59/2004.
- MEDICI F., RINALDI G. (2004). "PROBLEMI DI QUALITÀ DELLE ACQUE DEI LAGHI ALBANO E DI NEMI". ACQUA E ARIA, 35(7), 32-36.
- MEDICI F. (2005). "LAGHI ALBANO E DI NEMI: CARENZA IDRICA E ALTERAZIONE DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE". GEOLOGIA DELL'AMBIENTE, SIGEA, 13, 8-11.
- MOSELLO R., ARISCI S., BRUNI P. (2004). "LAKE BOLSENA (CENTRAL ITALY): AN UPDATING STUDY ON ITS WATER CHEMISTRY". JOURNAL OF LIMNOLOGY, 63(1), 1-12.
- MUSMECI F., CORRENTI A. (2002). "ELEMENTI PER IL BILANCIO IDRICO DEL LAGO DI BRACCIANO". ENEA, PROGETTO LIFE 02 ENV/IT/000111.